

精密仪器使用环境微振动测试规范

Specification for environmental micro-vibration testing of precision instruments

(征求意见稿)

2022-11-30 发布

2022-12-01 实施

中国计量测试学会 发布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测试仪器	2
4.1 拾振器	2
4.2 放大器	2
4.3 数据采集分析仪	3
4.4 仪器校准及维护	3
5 测试条件	3
6 测试仪器安装	3
7 测试方法	3
7.1 一般规定	3
7.2 场地振动测试	3
7.3 建筑物振动测试	5
7.4 防微振基台振动测试	6
8 数据采集和分析	6
8.1 振动数据采集	6
8.2 振动数据分析	7
9 测试结果应用	7
附录 A （规范性附录）测试报告	8

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2020给出的规则起草。
本标准由中国计量测试学会提出并归口。
本标准起草单位：中国计量科学研究院...
本标准主要起草人：

引 言

精密仪器具备价值大、精度高、使用环境要求苛刻等特点。大多数精密仪器对微振动比较敏感，微振动会对精密仪器设备造成损害、降低精度、产生难以接受的偏离，因此在工程规划选址和建设过程中必须考虑降低或消除微振动影响。目前，我国并没有专门针对精密仪器使用环境微振动测试与分析的统一技术标准。因此，研究并提出精密仪器使用环境微振动测试和分析方法的规范化要求，是当前精密仪器应用中亟待解决的一项关键技术，其成果将为精密仪器使用环境的选址和微振动控制设计提供科学依据。

精密仪器使用环境微振动测试规范

1 范围

本标准适用于精密仪器使用环境微振动测试，对使用环境微振动有要求的精密设备可参考执行。
本标准规定了测试仪器、测试条件、测试仪器安装、测试方法、数据采集和分析、测试结果应用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

- GB 50190 工业建筑振动控制设计标准
- GB 50463 工程隔振设计标准
- GB 50868 建筑工程容许振动标准
- GB 51076 电子工业防微振工程技术规范
- GB/T 51228 建筑振动荷载标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

微振动 micro-vibration

影响精密仪器正常运行的振动幅值较低的环境振动。

注：本标准所定义微振动应为幅值不大于表3.1规定的限值的振动

表3.1 振振动限值

微振动物理量	振动位移 / μm	振动速度 / $(\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	振动加速度 / $(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$
频域振动幅值	≤ 0.50	≤ 50	≤ 0.20
时域振动幅值	≤ 10	≤ 1000	—

3.2

容许振动值 allowable vibration value

精密仪器的最大振动限制值。

3.3

环境振动 environmental vibration

建筑场地、建筑物或防微振基台在内外各种振源影响下的振动。

3.4

稳态振动 steady-state vibration

测试时间内振级变化不大的环境振动。

3.5

随机振动 random vibration

未来任何时刻不能预先确定振级的环境振动。

3.6

冲击振动 shock vibration

具有突发性振级变化的环境振动。

3.7

常时微动 usual environmental micro-vibration

无明确振源的场地或建筑物的微弱振动。

3.8

防微振基台 anti-microvibration table

由台板和支承结构组成的有隔振作用的结构体系，支承结构可为建筑结构或独立设置的梁、板、柱及基础，在台板和支承结构之间可安装隔振器或隔振装置。

3.9

防微振设计 anti-microvibration design

为将环境振动影响控制在精密仪器容许振动值范围内，在工程设计规划、建筑结构设计及与隔振设计等方面采取的综合措施。

3.10

卓越周期 excellence cycle

环境振动的主导周期 即在时程曲线上出现次数最多的周期。

3.11

峰值 peak value

给定时间区间内振动最大值。

4 测试仪器

4.1 拾振器

4.1.1 拾振器应根据测试需要，选用较高灵敏度和分辨率的三向一体或采用单轴向组成三向测量的速度型拾振器，并宜满足下列要求：

- a) 灵敏度大于 $10\text{V}\cdot\text{s}/\text{cm}$ ，自振周期大于 1s ；

b) 分辨力；速度分辨率优于 10^{-7}m/s ，位移分辨率优于 10^{-7}m ；

c) 频带范围 0.2Hz-100Hz。

4.1.2 拾振器应有防尘、防潮、防水措施，非测量状态时必须锁紧仪器以防损伤。

4.1.3 孔中测量时应采用孔中拾振器，孔中拾振器宜能自动调平和定方位。

4.2 放大器

4.2.1 放大器宜采用具有抗混滤波功能的多通道放大器，各通道在最大放大倍数时幅值一致性偏差应小于 2%，相位一致性偏差应小于 2° 。

4.2.2 放大器应具有以下技术指标：

a) 输入信号如为电压量，则不得小于 0.1V；如为电流量，则应与选用阵子所需的工作电流相匹配；

b) 频带宽度 0.2Hz-100Hz；

4.2.3 放大器应具有线性、积分、微分电路，以适应测量不同参量的要求。

4.2.4 放大器宜具备体积小、重量轻、防尘、防潮、便于携带等性能。

4.2.5 放大器应能在温度 $10^\circ\text{C}\sim 40^\circ\text{C}$ 且相对湿度 $\leq 80\%$ 范围内正常工作，以适应环境条件下使用。

4.3 数据采集分析仪

4.3.1 数据采集的分辨力不宜小于 24 位，动态范围不宜小于 80dB。

4.3.2 数据采集系统的幅值测量误差应小于 1%，幅值线性度应小于 0.2%。

4.3.3 数据采集及分析软件应具有时域、频域多通道显示功能和 FFT 频谱分析等功能。

4.3.4 数据采集系统的本底噪声应小于 $10\ \mu\text{V}$ 。

4.3.5 数据采集系统的幅值通道一致性应优于 0.2dB，相位通道一致性应优于 0.2° 。

4.4 仪器校准及维护

4.4.1 拾振器、放大器、数据采集仪作为完整的测试系统，每年宜在国家认可的计量机构进行系统校准，并出具具有法律效力的校准证书。

4.4.2 拾振器宜每年校准一次，以检查灵敏度和其它性能的变化状况。当变化超过出厂灵敏度的 10% 时，应更换元件再行校准。

4.4.3 整套仪器长期不用时，应定期通电以保证元器件完好。

4.4.4 仪器搬运时，应装在有防振设施的仪器箱内，并轻装轻放。

5 测试条件

5.1 测试过程中，振源应处于规定的工作状态。

5.2 测试应在无雨雪、无雷电、无强风的天气环境下进行。

5.3 测试过程中，应避免剧烈的温度梯度变化、强电磁场、交流电源、高噪声等引起的干扰。

6 测试仪器安装

6.1 拾振器安装时，灵敏度主轴方向应与测量方向一致，且应进行水平向和竖直向对准。

6.2 拾振器应与测量目标紧密连接，做法如下：

a) 场地振动地面测试时，天然地基土场地应挖测试坑，去除虚土并夯实，测试坑底部应浇注薄层混凝土，测试坑上应有防护设施，防护设施不得干扰正常的振动数据采集；

b) 场地振动孔中测试时，钻孔均应安装 PVC 管加以保护，PVC 管应深入到目标深度上方 250mm~300mm。孔的底部应回填约 150mm 深度的沙子，夯实以使目标深度致密、平整，在沙子下方钻孔中留有 100mm~150mm 裸土，应避免管道和支撑振动拾振器的平板相互接触，从而为地面振动形成一个潜在的替代路径；

c) 建筑物或防微振基台振动测试时，宜将拾振器固定在大于拾振器质量 20 倍且不小于 1kg 的无磁性质量块上，可用螺栓、胶粘等方法固定于测试点。

6.3 每 1 测点应安装 3 只同型号的单轴向拾振器或三向一体拾振器，测试方向应互相垂直，分别采集竖直向及水平向振动数据。

6.4 拾振器、放大器、数据采集分析仪的连线应用屏蔽电缆线。

6.5 孔中拾振器下孔电缆线应防水、绝缘，提升线应有足够抗拉强度且质地柔软，可用导线与钢丝绳合股提升电缆。

6.6 仪器应采取良好接地措施。

7 测试方法

7.1 一般规定

7.1.1 使用精密仪器的建筑物，选址和建设阶段宜开展场地微振动测试、建筑物微振动测试和防微振基台微振动测试，运行阶段需要时可开展防微振基台振动测试。

7.1.2 当精密仪器在地下空间使用时，场地微振动测试宜同时进行地面和孔中微振动测试。

7.1.3 场地微振动测试应具备下列资料：

- a) 精密仪器的容许振动值；
- b) 建筑场地工程地质勘察资料；
- c) 邻近现有建筑物及地下管道、电缆等有关资料；
- d) 场地及周围道路布置图，道路行车状况；
- e) 拟建场地及邻近的振源位置及运行状况；
- f) 拟建场地建筑物布置规划。

7.1.4 建筑物微振动测试应具备下列资料：

- a) 精密仪器的容许振动值；
- b) 建筑物的建筑、结构设计图；
- c) 安装精密仪器的基础、台板设计图；
- d) 建筑物内振源位置及运行状况；
- e) 建筑物外邻近振源位置及运行状况。

7.1.5 防微振基台微振动测试应具备下列资料：

- a) 精密仪器的容许振动值；
- b) 防微振基台设计图；
- c) 隔振装置参数；
- d) 隔振计算资料；
- e) 防微振基台邻近振源位置及运行状况。

7.1.6 测试前，应对现场进行实地踏勘，制订测试方案。测试方案应包括下列内容：

- a) 测试目的及要求；
- b) 地形、地质情况简介；
- c) 测点附近干扰源分布和状态的简要描述；
- d) 测试内容及方法；

- e) 测点布置方案;
- f) 测试仪器配置;
- g) 数据分析处理方法。

7.2 场地振动测试

7.2.1 场地地面微振动测试测点布置及要求, 应满足以下要求:

- a) 测试应根据工程规模、建筑场地面积、有防微振要求的建筑物位置、周边道路及邻近干扰振源等因素确定测点位置。在一个场地上不宜少于3个测点(每个测点布置X、Y、Z三个方向), 测点间距不宜大于40m;
- b) 测点的测振方向应考虑场地的地质构造、地貌单元以及拟建建筑物的轴向等诸因素;
- c) 现场测试时, 各测点的三个方向拾振器相互垂直放置, 且每个拾振器相互之间的距离不得大于1m;
- d) 测点应远离人为振动干扰点, 与建筑物距离应大于该建筑物高度的2/3;
- e) 测试时拾振器周边15m不得有人员走动;
- f) 测试工况分类及组合应包括常时微动、固定干扰振源及移动干扰振源的分别作用及组合, 进行随机振动、稳态振动、冲击振动等测试;
- g) 测试应采取多测点同时采样, 当拾振器数量不足或不能使所有测点同时采样时, 可分批采样, 但应保持振动工况一致;
- h) 当场内外道路无车辆行驶时, 可采用车辆模拟移动干扰振源运行, 车辆数量、载重量、行驶方向、行驶速度应根据周边道路行车状况确定。

7.2.2 场地孔中微振动测试测点布置及要求, 应满足以下要求:

- a) 测点的深度视工程设计要求或地质构造的复杂程度而定, 一般宜在2~3个不同深度测试, 在测量前, 宜进行孔中测斜工作;
- b) 孔中拾振器的方位与地面拾振器的方位应一致;
- c) 孔中测点的地面投影与地面测点的水平距离不得大于1米;
- d) 施测钻孔的深度应大于预定最深测点的深度150mm~200mm, 其孔径以能顺利升降孔中拾振器为准, 不宜过大;
- e) 孔中拾振器及电缆线在下孔前应检查是否密封, 导线有无短路、漏电现象。检查一切正常后, 将拾振器下到预定深度, 并将其固定于孔壁, 方可进行测量。

7.3 建筑物振动测试

7.3.1 精密仪器的独立基础动力特性测试应符合下列要求:

- a) 可采用冲击法或共振法测试基础固有振动频率及阻尼比, 拾振器应布置于基础顶面的质心投影点位置;
- b) 动力特性测试的重复测试次数不应少于3次。

7.3.2 建筑物动力特性测试应符合下列要求:

- a) 建筑物楼层结构对称时, 可按任一主轴水平方向测试; 当结构不对称时, 应按各个主轴水平方向分别测试;
- b) 拾振器应布置于梁板结构的主梁、次梁及板跨中, 无梁楼板结构应布置于板跨中。

7.3.3 振动荷载测试应符合下列规定:

- a) 振动荷载测试宜采用直接测试法;
- b) 振动荷载测试点应取振动设备的支承点或振动荷载作用点。

7.3.4 微振动测试应符合下列要求:

- a) 微振动工况分类及组合应包括常时微振动、本建筑以外的固定干扰振源、移动干扰振源,

本建筑内的固定干扰振源、移动干扰振源的分别作用及组合；

c) 对于精密仪器的独立基础，拾振器应布置于基础顶面质心处及基础长边及短边方面两端；对于楼层结构，拾振器应布置于精密仪器的安装位置处，或布置于结构主梁、次梁及跨板中。

7.3.5 振动测量过程中应保持振源处于正常工作状态，并应避免其他振源和环境因素对振动测量的干扰。

7.3.6 振动稳态测量应在振动响应正常工作时段进行，环境振动稳态测量应在昼间和夜间分别进行。

7.3.7 振动测试采样频率宜为扫频区频率最大值的 2.56 倍，建筑物测试采样频率不应低于 256Hz。

7.3.8 环境振动测量的测点数量不宜少于 3 个；楼板振动测试面积不大于 20m²时应至少选取 1 个测点，测试面积大于 20m²时应至少选取 3 个测点。

7.3.9 振动测试的时长应根据振动响应特征确定，并确保主要振动响应信息、数据分析结果等数据真实反映振动特征。

7.3.10 相同测试工况下每个测点有效记录不得小于 3 次，测试结果宜取 3 次测试数据的平均值。

7.3.11 建筑结构的传递率分析，宜采用多点同步测试结果。

7.4 防微振基台振动测试

7.4.1 动力特性测试应符合下列要求：

- a) 测试前，隔振系统应经过调试，确认正常工作状态；
- b) 动力特性测试应符合本规范 7.3.1 第 a) 款的规定；
- c) 对于超宽、超长台座，宜进行基台结构模态测试。

7.4.2 微振动测试应符合下列要求：

- a) 环境微振动工况分类及组合应符合本规范 7.3.4 第 a) 款的规定；
- b) 拾振器应布置于台板顶面隔振系统的质心处及长边、短边方面两端；
- c) 拾振器应布置于台板顶面隔振系统的质心处及支承结构对应位置处。

8 数据采集和分析

8.1 振动数据采集

8.1.1 微振动采集的物理量可根据场地土或结构的动力特性和观测仪器的灵敏度，采用位移、速度或加速度。对场地微振动测试时软弱土宜采用位移或速度，对场地微振动测试时基岩或坚硬土、建筑物振动微测试和防微振基台微振动测试，宜采用速度或加速度；也可按精密设备厂商或设计部门的要求。

8.1.2 数据采集前，同型号拾振器应进行试采样及比对分析。

8.1.3 采样频率应大于数据分析截止频率的 2 倍，宜取 2.56~6.00 倍，每个样本数据不应少于 1024 点。

8.1.4 采样时间和次数应符合下列要求：

- a) 随机振动不应小于 30min；
- b) 稳态振动不应小于 10min；
- c) 同类移动振源不应少于振源通过 5 次；
- d) 同类冲击振动不应少于 5 次。

8.1.5 每次采样除规定的振源及振源组合外，其余振源应停止运行。

8.2 振动数据分析

8.2.1 振动数据的预处理应符合下列要求：

- a) 微振动测试所采集的样本应与测试原始记录核对，应选择有效样本进行排序整理；
- b) 应对每一样本进行检查，并除去零点漂移及干扰。

8.2.2 微振动的物理特性应以振幅及频率来表征，振幅及频率特性的主要参量包括振动幅值的表征值和卓越周期或卓越频率。

8.2.3 卓越周期可按下列两种方法之一求得：

a) 在时域上处理时，作周期-频度（数）曲线，与该曲线峰值点对应的周期即为卓越周期。

b) 频域上处理时，可由自功率谱的峰值周期、单点反应谱的峰值周期或土层波动分析的传递函数峰值周期确定，也可由面波频散曲线上的最小群速度确定。

8.2.4 测试三分量记录曲线的周期彼此相合或接近，只确定一个卓越周期；当出现多个谱峰时，宜将主峰定为本场地的卓越周期，必要时，一个场地可给出两个或两个以上的卓越周期供工程设计部门选定。

8.2.5 测试三分量的卓越周期不相同，应分别提出水平向和竖直向的卓越周期。

8.2.6 振动数据的时域分析应符合下列要求：

a) 对于时域振动位移、速度及加速度均方根值，采用平均方法求得，平均次数根据数据采样长度决定；

b) 对于时域振动位移、速度及加速度峰值，显示时域曲线可直接判读；

c) 微振动的卓越周期，可利用零交法对微振动测试曲线进行统计处理求得。

8.2.7 振动数据的频域分析应符合下列要求：

a) 应做频域 1/3 倍频程谱，线性谱或功率谱分析；

b) 窗函数宜采用汉宁(Hanning)窗；

c) 应根据需要设定截止分析频率；

d) 频域分析对样本信号的平均次数应根据数据采样长度决定；

e) 稳态或随机振动信号宜采用线性平均或峰值保持平均进行频域分析；

f) 对于移动振源或冲击振动信号，宜采用峰值保持平均进行频域分析；

g) 在场地微振动测试时，如需要了解地面上测点和孔中测点的相互关系，可进行传递函数或互功率谱分析；

h) 当功率谱图上出现多峰点，且每个峰的幅值相差不大，无法从谱峰上确定卓越周期时，可在进行谱分析的同时，进行相关分析和互谱分析，对场地微振动信号的卓越周期进行综合评价；

i) 在功率谱图上，幅值最大的那一根谱线所对应的频率即为所测微振动信号的卓越频率，由此计算出卓越周期。

9 测试结果应用

9.1 精密仪器的容许振动值宜由设备制造厂家提供或通过试验确定；当设备制造厂家不能提供或无法试验确定时，应按现行国家标准《建筑工程容许振动标准》GB 50868 的有关规定确定。

9.2 场地振动测试值大于精密仪器的容许振动值，宜更换精密仪器使用地点或采取有效减振隔振措施；建筑物振动测试和防微振基台振动测试值大于精密仪器的容许振动值，应修改或增强减隔振处理。

9.3 精密仪器使用环境微振动控制设计应符合下列规定：

a) 工业建筑使用的精密仪器，在机械振动荷载作用下结构振动控制设计按现行国家标准《工业建筑振动控制设计标准》GB 50190 的有关规定确定；

b) 电子工业使用的精密仪器，防微振工程设计按现行国家标准《电子工业防微振工程技术规范建筑》GB 51076 的有关规定确定；

c) 振动荷载应按现行国家标准《建筑振动荷载标准》GB/T 51228 的有关规定确定；

d) 采取隔振措施时，应符合现行国家标准《工程隔振设计标准》GB 50463 的有关规定。

附录 A 测试报告（规范性附录）

A.1 概述

根据所做测试，测试报告应提供足够正确、清晰和客观的数据来进行分析和参考。报告应包含测试数据。报告有摘要式和详细式两种类型，每种类型的报告都应包括相应的标题页和内容目录。

A.2 测试报告内容

A.2.1 标题页

标题页应包括下列各项信息：

- a) 报告编号；
- b) 报告的类型（摘要式、详细式）；
- c) 测试者、校对者、审核者；
- d) 报告日期；
- e) 测试场所；
- f) 测试名称；
- g) 测试日期；
- h) 测试种类（场地微振动测试、建筑物微振动测试、防微振基台微振动测试）
- i) 测试申请单位

A.2.2 测试报告形式

每种类型的报告都应提供一个内容目录。

A.2.3 测试报告形式

A.2.3.1 摘要式报告

摘要式报告应包括下列各项信息：

- a) 测试目的；
- b) 测试仪器；
- c) 测试条件；
- d) 测试依据；
- e) 测试结果。

A.2.3.2 详细式报告

详细式报告除包含摘要式报告的内容外，还应包括下列各项信息：

- a) 测试仪器的校准报告；
 - b) 测试方案；
 - c) 用图或表形式说明测试结果；
 - d) 测试结果的讨论分析。
-